一橋大学機関リポジトリ
HERMES-IR

Title	生産技術と技能
Author(s)	平賀，龍太
Citation	一橋大学研究年報．商学研究，35：117-161
Issue Date	1995-03-15
Type	Departmental Bulletin Paper
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10086/9708
Right	

Hitotsubashi University Repository

生産技術と技能

平　賀　龍　太

(1)　本論文の目的

本論文は，生産技術，とくに自動化技術と技能の関係に焦点を当て，特定の自動化技術が特定の技能を吸収し，さらにそれを越えていくプロセスを詳細に追求することにある．我々の最終的な目標は，生産技術と製造現場の作業組織や権限関係との関係を明らかにすることにある．その際，生産技術と作業組織ないし現場の権限関係との相互関係の間に，作業内容や，その作業内容に根差した熟練が介在してくるものと考えられる．そして，特定の作業内容や，その作業内容に根差した熟練は，採用される生産技術，とくに自動化技術と密接に関連するものと考えられる．我々は，最終的に，製造現場に於ける特定の生産技術の導入が，製造現場にどの様な変化をもたらすのか，そして，新技術導入に伴う作業現場の変化に対して，生産技術それ自体がどれ程の規定力を持つかについて，検証してみたいと考えている．この点については，これまでに，様々な形で議論が行われてきている．したがって，我々は，我々が目標とするものをより一層明確にする意味で，過去の研究の成果を，まず，ここで，振り返ってみることにしよう．

(2)　過去の研究のレビュー

我々は，これから，我々の問題意識と直接関係する文献について振り返ってみることにする．

製造現場に於ける変化に対して，生産技術がどの程度の規定力を持つのかについては，大きく2つに見解が別れてきたということができる．1つは，技術それ自体よりは，むしろ，社会的要因が規定要因として重要であるという立場であり，もう一方は，社会的要因の影響力を認めつつも，1つの独立した規定要因として技術それ自体は極めて重要な意味を持っており，したがって，その重要性は決して無視し得ないとする立場である．我々は，これから，前者を代表する立場の文献と，後者の立場を代表する文献について簡単に振り返ってみることとする．

まず，変化の結果に対する社会的要因の重要性を指摘した文献として、Wilkinson（1983）を取り上げよう[(1)]．彼は，技術がもたらす変化の結果のバリエーションは，独立した政治的，社会的影響要因によって生じるものであると考えている[(2)]．彼は，既存の研究では，彼のいうところの『イノベーション・アプローチ』が支配的であったとしている．ここで，彼がイノベーション・アプローチといっているのは，作業組織に於ける変化を生産技術の進歩の結果としてみる見方である．彼は，また，イノベーション・アプローチを，政治的意義のない（apolitical）アプローチであるともいっている．新技術は，個々の生産システムに対する中立的なインプットであるとされている[(3)]．以上のように，イノベーション・アプローチにおいては，技術が主要な独立した説明変数とされているのである．Wilkinsonは，競争上優位な技術が必然的に採用されるというコンセンサスの幻想を払拭し，特定の利害を持ち，特定の権力的地位に置かれた特定の人々によ

って変化の結果がコントロールされていると考えている[4]．その一方で，彼は，ブレイヴァマンの議論の仕方に対しても，批判的な姿勢を採っている．Wilkinsonによれば，ブレイヴァマンは，技術を，生産組織に対する外性的なインプットとして捕らえている．彼は，ブレイヴァマンが，資本主義による規定を強調し，労働者が，職場の同僚や生産機械の双方に対して独自の関係を構築できること，そして，経営者が技術に対する選択の余地を保有していることを認識していないとして批判している[5]．Wilkinsonによれば，技術の選択とその使用方法は，政治的次元を有するものであり，技術の設計と選択は，社会的に引き出された意思決定の結果である[6]．例えば，NCシステムの選択1つをとっても，そこには，マネジメント・コントロールの意図が見え隠れしているとWilkinsonは指摘している．NCシステムには，大きく分けて2つのタイプがあるが，その1つは，レコード・プレイバック・システムであり，今1つは，プログラマにより紙テープや磁気テープが用意されるシステムである．このうち，前者は，マニュアル・データ・インプット・コントロール・システムとも呼ばれ，オペレータ・プログラミングを可能にするものである．後者の場合には，従来の機械加工の技能や知識に加えて，NCテープ作成の知識が要求される．そして，作業者がNCテープの作成に参加しない場合，作業者には，ワークのローディング・アンローディングの作業だけが残され，オペレータにとってはデスキリングという現象が生じる．したがって，作業現場に対するマネジメント・コントロールを強化したいという場合には，後者のプログラミング方式を採用して，加工条件設定の現場からオペレータを排除することもできるのである．人間による制御を電子制御によって代替することにより，生産の量や質に対する直接的なマネジメント・コントロールが可能になる[7]．Wilkinsonは，技術のロジカル・アプリケーション[8]に対して，何らかの関係者の意図が介在するはずだと考えている．彼の結論は，以下

のように集約できる．すなわち，伝統的な熟練に代わってコンセプチュアル・スキルが支配的になってきたからといって，それが，必ずしもオペレータのデスキリングを意味するものではなく，マネジメントサイドの政策と，それに対する労働者の反応とが相俟って，個々の企業に於けるスキルの構造が決定される．

以上が，社会的要因を重視する立場の論者の例であったが，今度は，技術の独自の規定力を強調する立場の論者の議論に耳を傾けてみよう．ここでは，Jon Clark/Ian Mcloughlin/Howard Rose/Robin king (1983) の研究[(9)]を事例として取り上げることとする．

彼らは，エンジニアリングの意味に於いて正確であり，また，職場レベルでの技術変化の分析に適用できる程度に具体的で柔軟な技術の定義として，技術＝エンジニアリング・システムという形で，技術を概念化している[(10)]．そして，彼らは，以下のように主張している．すなわち，技術は，変化の結果に対して独立した影響力を持ち得る．そして，それぞれの技術的状況に対しては，最も適当な特定の組織形態が存在する．技術には，労働過程を支配しようとするマネジメントの意図とは無関係に作業の在り方を規定するだけの影響力がある．そして，当該研究を導いている1つの重要な仮説として，職場に於ける技術変化の結果が社会的に選択され，交渉されるそのやり方に対して影響力を持つ1つの独立変数として，技術が作用することがあるという考え方がある[(11)]．彼らは，エンジニアリング・システムを構成する3つのエレメントとして，システムの原理，システムの構成（構造），システムの実施（物理的実現）を想定している．最初の2つがシステムのアーキテクチャーと呼ばれ，システムの実施はシステムのテクノロジーと呼ばれている[(12)]．この研究の中では，電話交換システムが技術の事例として取り上げられており，ストローガ・システムと呼ばれる交換システムとTXE 4と呼ばれる交換システムが対比されている．エンジニアリ

ング・システムとしての両者の特徴をまとめると以下のようになる.

・ストローガ・システム

ステップ・バイ・ステップのアーキテクチャー（原理）

エレクトロ・メカニカル・テクノロジー（実施）

スイッチングが同時にコントロールを兼ねる（構成）

・TXE 4 システム

セミ・エレクトロニックな交換システム（実施）

コモン・コントロール（スイッチングとコントロール・エレメントが区別されている）（構成）

マトリックス・スイッチング・プリンシプル（原理）

そして，著者たちがこの書物の中で指摘しようとしたことは，エンジニアリング・システムの特定の側面が，作業の特定の側面に影響を与え得るのであり，そのエンジニアリング・システムからの影響は，管理者や労働者や労働組合の選択の余地を制約することも，また，逆に拡張することもあるという点である.(13)

著者たちは，2つのシステムについて，そのメンテナンス作業に要求される熟練について調査している．そして，それらの熟練は，作業タスクと密接に関連していると考えられている．両システムのメンテナンス作業に要求される熟練として，以下のものがあげられる.(14)

・ストローガ・システム

洗練された視覚的・聴覚的能力

手洗の熟練

いわゆるテクニカル・オフィサー・タッチ

・TXE 4 システム

メンタルな診断・解釈能力

システムに関する知識

このうち，ストローガ・システムの場合には，ステップ・バイ・ステップのアーキテクチャーが，メンテナンス技術者による故障箇所の発見に対する重要なインプリケーションを持っている．つまり，視覚と聴覚を駆使したメンテナンス作業が可能になるのである[15]．両システムには，予防保全と修正保全の両方が含まれているが，それらの保全作業の相対的な比重が異なっている．ストローガ・システムの場合には，時間で計った場合，予防保全が全体の 50% 弱を占めているのに対して，修正保全が 50% 強を占めている．これに対して，TEX 4 システムの場合には，修正保全が，全体の 7 割程度を占めている[16]．TXE 4 システムの場合には，メカニカルな部品が削減されており，その代わりに信頼性の高い電子部品が投入されている．このような消耗性部品の削減と共に，TXE 4 システムの特徴となっているのは，部品交換が相対的に容易になっており，コモン・コントロール・アーキテクチャーが，故障箇所の確定と原因の診断を複雑化させているという点である．著者たちは，交換システムの選択が，予防保全と修正保全の比重に関する決定について，組織の行為者のデザイン・スペースに影響を与えており，交換器のアーキテクチャーやテクノロジーが，メンテナンス・ワーク・タスクの様々な要素に影響を与えていると評価している[17]．また，著者たちは，両システムの予防保全と修正保全の比重の相違については，2 つの交換システムの技術的特徴に負うところが大きいと評価している[18]．さらに，著者たちは，両交換システムの技術的特徴が，作業管理組織に対しても影響を与えていると評価している．著者たちの言葉を借

りれば，特定の技術が，現場監督者の役割の定義・再定義を行う際のデザイン・スペースに影響を与えているという[19]．その根拠として，著者たちは，以下のような理由を挙げている．

・両交換システムとも自動交換システムであるから，欠陥モニタリング装置があって，交換器のパフォーマンスについて，相当の情報を提供してくれている．したがって，両システムの監督者は，現場に常駐しなくとも，メンテナンスに関する必要情報を入手することができる．
・ストローガ・システムの場合には，予防保全の占める比重が大きいので，予防保全のための定期的な作業が発生し，結果的に作業計画をあらかじめ設定しておくことが容易である．逆に，TXE 4 システムの場合には，修正保全の方が大きな比重を占めるため，作業計画の事前設定が困難な状況にある．したがって，TXE 4 システムの場合には，現場の自由度が相対的に大きくなる傾向にある[20]．

また，著者たちは，技術的要因の作業組織に対する影響について言及している．ストローガ・システムの場合には，ステップ・バイ・ステップのスイッチング方式を採っているため，ステップの区切りを作業者間の分業の区切りとすることができ，分業的な作業組織を作りやすく，予防保全が主体となっているために，あらかじめ公式的に作業を割り振っておくことが可能であるのに対して，TXE 4 システムの場合には，コモン・コントロール・アーキテクチャーを採用しているため，交換装置の機能的な相互依存性が相対的に大きい．すなわち，TXE 4 システムは，統合的なシステムとしての特徴を持つのである．したがって，ストローガ・システムとは対照的に，空間的な分業体制を敷くことは適当ではなく，欠陥や故障がより複雑な性格を持つということもあって，柔軟で協働的な作業組織が適

当である[21]．ここで，著者たちは，作業組織に対する技術の独自の規定力の存在を確認しているのである．

以上のように，Clark たちは，作業内容やその作業内容に必要とされる熟練，そして現場の作業組織や作業管理の在り方に対する電話交換器の技術の独自の規定力の存在を主張するのである．電話交換システムの進化に対して，当該企業の労働組合は，積極的であり，また，楽観的であったという．しかし，さらに TXE 4 システムを進化させたシステム X の導入を巡っては，労働組合が反抗的な姿勢を示したとされている．この次世代のシステム X は，デジタル交換システムとしての特徴を持っており，メンテナンスの中央での集中管理体制を可能にするものであるという．それは，また，マネジメントがシステム X に対して期待していることでもあった．システム X の導入は，伝統的な作業実践とメンテナンス技術者の職務領域に対する非常に重大なインプリケーションを有するものであったため，労働組合が，システム X による近代化に対して，一貫して非協力的な姿勢を採っていたという[22]．

最後に，我々は，今一つ，Clark たちの研究とは反対の立場を採る研究について検討してみることにしよう．それは，Shaiken（1986）の研究である[23]．

彼はコンピュータに依拠したオートメーションは，決して自然に作り出されたものではなく，あくまで人間の産物であって，そこには，必ず，何らかの開発意図があるはずだと主張している．彼は，技術開発の意図として，技術的意図と社会的意図を区別し，とくに社会的意図については，その中にマネジメントサイドの 2 つの社会的開発意図が含まれているとしている．それらは，直接労働力の削減と，製造過程に対するマネジメント・コントロールの強化である．そして，熟練労働者の職務上のパワーは，彼らの持っている熟練に根差しているとしている．そして，例えば，NC 技

術の導入を例にとって考えてみると，NC技術の導入は，熟練労働者の持っていた熟練をパート・プログラムという形で，熟練労働者の手から引き離してしまうという状況を発生させるという．マネジメントサイドの権限を増大させるためには，労働側からのインプットを削減する必要があるという．マイクロ・エレクトロニクスのハードウェアやコンピュータのソフトウェアといった基礎的なコンポーネントについては，その段階では，まだ，中立的な性格のものであり，いかようにも組み合わせて使用することができる状態になっているが，しかし，その一方で，それらが組み合わせられて，より複雑なデザインを持つものへとまとめ上げられた場合には，そこに，デザイナーのバイアスが組み込まれていると考えられる．彼によれば，マシンやシステムそのものが，職場に於けるパワー関係を具現化しているという．彼は，生産技術のアレンジメントの中に，すでに，政治的意図が込められていると主張している．また，技術は，生産現場に於いて労働者が保持するレパレッジにも影響を与えると考えている[24]．以上3者の立場を総括して，我々がこれから行う議論の枠組みを作っておこう．

一般に，新技術導入過程は，5段階に分けてとらえることができる．すなわち，1）イニシエーション（新システム採用の必要性の認識，新システム採用機会の探求），2）採用の意思決定（適当な資源を投資するという意思決定に繋がる過程），3）システムの選択（システムの開発・選択），4）実施（職場への新システム導入過程），5）ルチーン・オペレーション（新システムの設置，スタッフによる安定した作業パターンの創造）の5段階である[25]．

我々は，この5つの段階を，2つの段階に総括して考えてみることにする．1つは，上の第1段階から第3段階までであり，今一つは，第4段階と第5段階である．政治的，社会的状況が変化の結果を規定すると主張する者の多くは，後者の段階に於ける政治的・社会的要因の作用を念頭に置

いており，それは，いわば，アプリケーションの社会的コンテクストと呼べるものである．そして，そのような立場を採る者にとって，前者の採用の意思決定までの段階は，政治的・社会的状況にとって中立的な性格を持つものと考えられていると思われる．すなわち，選択された技術は，すでに，与件としてそこにあるのであり，その技術自体の性格は全く問わないということである．しかし，果たして開発段階までの技術を中立的な与件として捕らえてよいものだろうか．この点については，Clark たちが，『技術の設計過程に於て，すでに，経済的・政治的諸目的が組み込まれている可能性が十分にある』と指摘している(26)．ということは，彼らの研究の中で技術の独自の規定力と言われていたものが，純粋な技術それ自体の規定力なのか，定かではなくなってくる．我々は，特定の技術の開発段階にまでさかのぼって，その技術が開発される過程で，どのような諸利害が絡んでいたのか，そして，どのような狙いがその特定の技術に込められているのかを明らかにする必要がある．

我々は，これから，特定の技術の開発を巡って，どのような意図がその開発された技術に込められているのかを検証していきたいと考えている．その際，完全な検証を試みようとするならば，経営者，労働者，労働組合，そして特定の技術開発に携わった技術者のすべてに渡って，包括的に調査をしなければならなくなるが，今回の研究では，すべての利害関係者の利害が最も色濃く集約されると考えられる特定の技術の開発担当者に対象を絞って，開発された技術に込められた意味を探っていくこととしよう．そして，製造現場における労働者の発言力が，その労働者が保有している熟練や技術に根差したものであるということができるならば，とくに，特定の自動化生産技術と特定の技能との関係を，技術開発過程の中で追跡していく作業は有意義な作業であると考えられる．

今回，我々が生産技術（とくに自動化技術）と特定の技能との関係を検

証するに当たって選択した事例は，自動車のオフライン工場の塗装工程への産業用ロボットの導入である．具体的には，自動車のアンダーフロアー，外板，内板の塗装作業のロボット化を研究対象とする．したがって，我々は，塗装ロボットと塗装技能の関係を追求していくことになる．その際，我々は，特定の時点の技術開発に絞った研究を行うのではなく，時系列的に塗装ロボット自身の進化と塗装技能との関係を追跡していきたいと考えている．我々が今回の研究のために協力を依頼した企業は，日産自動車，神戸製鋼，不二越の3社である．このうち，日産自動車がロボット・ユーサー，神戸製鋼と不二越がロボット・メーカーということになる．歴史的に見ると，自動車工場への塗装ロボットの導入は，とくに日産自動車に於いては，アンダーフロアー，外板，内板の順で導入が進んでいった．結論へと先走るようだが，結果的には，技術と技能との関係でいえば，最初，技術が技能を追いかけ，それを吸収することに努力し，最終的には，塗装ロボットが人間の塗装技能を越えるレベルへと進化していったということができる．我々は，これから，具体的に，日産自動車に於ける塗装ロボットの導入過程を追跡するのであるが，その際，常に，技術と技能との間の距離を意識して導入過程を観察していきたい．果たして，塗装ロボットは，完全に人間の介在する余地をなくしてしまうような性格の自動化技術なのか，それとも，新しい形のロボットと人間の関わり方が生み出されてくるのか，この点に注目しながら，塗装ロボットと塗装技能ないし塗装工との関係を追求してみよう．すなわち，塗装ロボットは，塗装技能を引きつけようとしたのか，それともそれを遠ざけようとしたのか，これが我々の研究の着眼点である．それでは，第3節から事例研究に入っていくが，事例研究に協力していただいた関係者の方々のお名前を，引用の時点で本文中に記させていただくこととする．

(3)　追浜工場に於けるアンダーフロアー用塗装ロボットの導入

我々は，まず，日産自動車・追浜工場に於けるアンダーフロアー用塗装ロボットの導入について検討する．この時，追浜工場に塗装ロボットを納入したのは，不二越である．我々は，この当時，塗装ロボット専門の担当者として活動していた不二越の機械技術者と，当時ユーザー側の窓口となっていた日産自動車の塗装技術者から，当時の状況について取材した．

俗な言い方をすれば，この追浜工場でのアンダーフロアー用塗装ロボットの導入は，日産自動車にとってみれば，塗装ロボットというものがどれだけのポテンシャルを持つものか，1つ味見をしてやろうという段階のものであったと言うことができる．この時，追浜工場に導入されたロボットは，不二越社製のユニマン5000シリーズである．このユニマン5000は，不二越としては初めての多関節型の産業用ロボットであった．時期的には，不二越側の記録で，出荷ベースで1976年11月となっており（不二越；浦田），ユーザー側の記録では，ロボットの設置時期が1976年8月頃ということになっている（日産；芳賀）．当時，日産で窓口となっていた芳賀によれば，アンダーフロアー用塗装ロボットの導入の理由として，以下の点があった．

・ピット内作業で，作業環境が悪いこと．
・台車の下からフレームの間をぬって塗装するため，通常の自動機で対応できなかった．

以下に，追浜工場に導入されたユニマン5000の標準仕様を示す．

ロボット本体

腕；垂直→ストローク＝2,300 mm，速度＝1,500 mm/sec

水平→ストローク＝1,330 mm，速度＝1,500 mm/sec

旋回→ストローク＝90°（3,350 mm），速度＝1,500 mm/sec

手首；ねじり→ストローク＝220°，速度＝120°/sec

振り→ストローク＝220°，速度＝120°/sec

曲げ→ストローク＝220°，速度＝120°/sec

制御装置

指令方式＝ティーチング・ハンドルによる．

設定記憶容量＝400秒（不二越・カタログ・no. 6715-2より）

後に紹介する神戸製鋼は，塗装ロボットに関しては，ノルウェーのトラルファ社からの輸入販売からスタートしているが，不二越の場合には，機械，制御とも独自の開発で塗装ロボットを製品化している．不二越の浦田は，昭和49年に塗装ロボットの製品化を引き継いでいるが，当時の塗装ロボットの開発状況について次のように振り返っている．

『私の見解としては，溶接と塗装は違うと思っています．溶接工学という世界はあるが，塗装工学という世界はない．溶接というのは，デジタルにできる何かがあります．ただし，仕上がりというのは別にしまして．塗装というのは，人の感性に訴えるようなところが多くて，なかなかできないんです．私自身，不二越の塗装ロボットについて，結構初期からずっと携わってやってきたんですが，何が塗装ロボットとして必要なのかという仕分けが随分長いことできませんでした．そういう意味で，塗装の話をしますと，まあ，確かにおっしゃったように，人は塗装ガンを持って，こうやってこういう動きをしているんだよという言い方はよくされます．我々が悩んでしまったのは，人の場合は，1キロかそこらの塗装ガンを持って，こういうことで動かしていますと．しかし，ロボットは，自分自身がかなり重くて，それでいて人と同じような動きをしろという格好というのはな

かなか実現しにくかったんです.』

この浦田の見解から，当時，浦田たちが，ロボットの動きをいかに人間の動きに近付けるかという点で頭を悩ませていたということが分かる．塗装ロボットの技術が人間の技能を追いかけようとしていたのである．ユニマン5000の基本仕様の中に指令方式として，ティーチング・ハンドルによるということが書かれているが，これは，いわゆるCPダイレクト・ティーチングのことを差している．人間が，ロボットの手首の先に付けられたティーチング用のハンドルを持って，塗装ガンの動きをコントロールするティーチング方式である．

当時，日産自動車側の窓口となっていた芳賀によれば，この時，相見積もりメーカーとして，川崎重工業，神戸製鋼，不二越の3社があげられていたが，神戸製鋼については，トラルファ・ロボットの販売専業で，技術的に小回りをしているのではないか，また，川崎重工業にいては，溶接ロボット志向が強く，塗装ロボットに関しては今一つ熱意に欠けていたと判断され，結果として，不二越のユニマンの採用が決定されたのだという．不二越は，ハード面・ソフト面共に，自社技術で日産の相談に直接対応できた．また，導入されるロボットが油圧式のロボットであったため，NACHI（不二越の商標）の油圧技術に対する信頼感があった．さらに，また，不二越は，検討段階から，実車持ち込み試験を行うなどして，日産に対してその熱意を示したという．これは，ボディを実際に不二越に送って，不二越が，櫓のような物を作ってその上に台車ごとボディを載せ，モータで低速で台車を引っ張るような装置を用意したということである．

そして，アンダーコート塗装用のロボットを実際に導入した結果，立ち上げ後の課題として以下の点が明らかになった．

・ロボットの慣性力が大きくて，ティーチング作業には，足腰の鍛練が必要

・どこか1箇所プログラミングに失敗しただけでも，最初からプログラミングをやり直さなければならなかったので，最適作業プログラムの達成が困難である．また，プログラムの編集機能を付ける必要がある（日産；芳賀）

ここで，ロボットに動作を教え込む作業に於いて，1つのジレンマがあった．すなわち，ベテランの塗装工には塗装の熟練があるが，足腰が弱っている．逆に，若い塗装工は，足腰は強いのだが，塗装の熟練がないというジレンマである（日産；芳賀）とにかく教示する際にハンドルが重たいというのが，当時のCPダイレクト・ティーチング・ロボットに於ける最大の難点であった．

当時のアンダーフロアー塗装工程の状況について，不二越の浦田は次のようにいっている．アンダーコートの塗装には，すでに専用器が使われており，プロペラシャフトの収納部分やフュエルタンクの取り付け部分，それにスペヤタイヤの取り付け部分などの凹凸のある部分の垂直面が専用器では塗り切れなかったので，専用器の塗り残しをロボットが担当するという形をとっていた．

さらに，一言付け加えるならば，不二越が，塗装用のロボットとして関節型のロボットを開発した理由として，・トラルファの設計を踏襲した，・ダイレクト・ティーチングで先端を持ってロボット全体が動く構造という点で，直交型や極座標型では限界があると考えた，という点が挙げられる（不二越；浦田）．

(4) 座間工場に於ける外板上塗り用塗装ロボットの導入

次に，我々は，日産に於ける塗装ロボット導入の第2段階へと進んでいこう．ここでは，日産自動車・座間工場への外板上塗り用塗装ロボットの

導入過程を中心として議論をしてみたい．この外板上塗り用塗装ロボットを座間工場に納入したメーカーは，不二越と神戸製鋼であった．不二越の社内記録がほとんど残っていなかったため，我々は，主に，神戸製鋼に資料として残されていた文献を頼りに，当時の状況を再現してみることとした．ここで，少々，神戸製鋼と塗装ロボットとの関係について触れておくことにする．神戸製鋼は，元来，独自の機械技術と制御技術を持って，塗装ロボット業界に参入したのではなかった．ノルウェーのトラルファ社製の塗装ロボットを輸入して，日本国内で販売するという形から始まっている．この輸入されたトラルファ社製の塗装ロボットは，手首の自由度が2自由度しかなく，また，防爆思想を持っていなかったので，そのまま自動車の塗装に使えるような代物ではなかった．輸入機が用途として想定していたのは，パイプ椅子，オートバイのプラスチック部品，バスタブなどの塗装であった（神戸製鋼・永谷）．そして，1973年に，トラルファ社と提携し，輸入を開始した直後から，神戸製鋼の当事者たちは，CP ダイレクト・ティーチングという教示方式に対して疑問を抱いていたという．すでに，自動車を塗装する以前に，一般塗装の段階で，CP ダイレクトでは塗り切れない部分が出ていたのであった．また，追浜工場のケースと全く同様に，操作が重いという問題点を抱えていた（神戸製鋼；若山）．現在，神戸製鋼は，塗装ロボットを PTP 教示方式のものに絞って製造・販売しているが，今でも，CP ダイレクト・ティーチングの世界は残っているという．例えば，貨車や建設機械，ポンプユニットといった細かい塗装品質を問わない、多少垂れても塗り残しがなければいいといった性質のワークに対しては，CP ダイレクト・ティーチングが残されている．さらに，小物のワークで，頻繁にワークの種類が変化するケースでも，PTP ではプログラミングの時間が非効率を生み出すため，CP ダイレクト・ティーチングが使われているという（神戸製鋼；永谷）．

さて，話を座間工場への外板上塗り塗装ロボットの導入の話に戻そう．このプロジェクトでは，3社のロボットメーカーがいわゆるオリンピックに参加している．それは，不二越，神戸製鋼，そして三菱重工業である．不二越の浦田，そして神戸製鋼の永谷の記憶によれば，このメーカー選定のためのオリンピックは，1976年の夏に行われている．この時，日産が何をテストしようとしたかについては，以下のような点が関係者によって指摘されている．

まず，神戸製鋼の永谷の証言によれば，トライアルの際，主に再現精度を確認され，また，ロボットの動きがギクシャクしないかという点もみられたという．神戸製鋼は，このトライアルの時に，最初手首2軸，全体で5軸のロボットを持ち込んでいる．型式は，KTR 3100であった．ただし，Kは神戸製鋼を，Tはトラルファ社を，Rはロボットを表している．さらに，当時，日産自動車の窓口となっていた三野によれば，座間の空き地でやったトライアルでは耐久性を見るのが主眼であって，それに加えて，各ロボットメーカーで，実際に塗料を吹いて，ロボットの有効作動範囲をテストしたという．また，不二越の浦田によれば，トライアルの段階で，トランクルームやエンジンルームの中を塗るにはどうするかというサブテーマが与えられていたという．この証言によれば，すでに座間の段階で，日産側が，将来の内板塗装のことを考え出していたということになるが，当時日産の窓口となっていた三野の証言によれば，座間のプロジェクトの時には，栃木の内板塗装に繋げようという意図は持っていなかったという．また，不二越の浦田の証言によれば，オリンピックの際のメイン・テーマは，ロボットと車をコンクリートの地面の上で対面させて，車のブロックごとにロボットの塗り方がどうなるかをチェックすることであったという．

座間のプロジェクトの時期的な部分については，その断片的な記録が残されている．それらを列挙すれば，以下の通りである．

・不二越側の記録

1977年　8月；2台出荷

1977年10月；大気社へ1台出荷

1977年11月；工場レベルで5台の出荷（このうち，日産の九州工場への出荷分が含まれている）

・神戸製鋼側の記録

1976年10月；床裏塗装用ロボットの見積書提出

1977年　3月；上塗り用ロボットの見積書提出

1977年12月；ロボットの設置完了

以上の記録から明らかなように，座間工場のプロジェクトは，1976年から1977年にかけて行われたものである．

座間工場に適用されたロボットも，追浜工場と同様にCPダイレクト・ティーチングのものであった．ここでは，不二越が納入したロボットの標準仕様を示しておく．

ロボット本体

腕；上下→ストローク＝1,900 mm

前後→ストローク＝90°

左右→ストローク＝100°　　腕3軸合成速度＝1.750 mm/sec

手首；回転→270°，速度＝120°/sec

振り→220°，逆度＝120°/sec

曲げ→240°，速度＝120°/sec

制御装置

指令方式；ティーチング・ハンドルによる．

設定記憶容量；450秒（『塗装と塗料』1982. 4. No. 351., 41頁）

座間工場での上塗り補正用ロボットの導入に於いて，ロボットメーカーが最も頭を悩ませたのは，手首の開発であった．まず，日産側から不二越に対して出された要求として，以下の点があった．

・手首のゴツゴツをなくしてコンパクトにせよ．

・操作力を軽くせよ．

・動作範囲を大きく取れ．とくにコンベヤ同期との関係で，旋回方向のエリアを広く取ること．

不二越は，この日産からの要求に答える形で，手首の改良に取り掛かったが，その結果，従来のオフセット型の手首に代えて，アクチュエータがアームと同軸上に並ぶインライン型の手首を開発している．この点について，不二越の浦田は，神戸製鋼のFA（フレキシアーム）の対抗として，インライン型の手首を作らされた記憶を持っているといっていたが，神戸製鋼に残っている資料からすると，この当時，神戸製鋼も日産自動車も，また不二越も，FAの存在について知り得ない状況となっている．すなわち，トラルファ・ロボットの取扱説明書のサードエディション（1980年）にはFAの図面が載っており，1976年付けのFAの試作図面の存在が確認されている．しかし，試作図面の段階では，まだ，FAの存在は外部に知らされていない．さらに，トラルファ社のスペアパーツカタログのセカンドエディション（1978年3月発行）には，CRC/FAが含まれていない．したがって，この1978年3月時点では，まだ，FA技術は外部に公表されていない．一方，神戸製鋼は，今回のプロジェクトで，上塗り用4台，アンダーフロアー用2台，エンジンルーム用1台の合計7台を座間工場に納入しているが，このうち，エンジンルーム防錆塗装用のロボットの設置が昭和53年（1978）の4月に開始されており，その他のロボットについても，ほぼ同時期に据付工事を開始しているということからすると，もしも不二越の納入したロボットが同時期に設置され始めたとするならば，オ

フセット型の手首を改良してインライン型の手首に変える時間的余裕がほとんどないということになり，不二越の浦田の記憶が誤っているといわざるを得なくなる．また，当のトラルファ社と技術提携していた神戸製鋼も，この時FAの存在を知らないということからしても，不二越の手首の改良は，別の目的から行われたものであると考えるのが妥当であろう．ちなみに，神戸製鋼が塗装用のロボットにFAを適用したのは，次節で述べる日産自動車・栃木工場が最初である．

さて，日産の窓口となっていた三野の評価によれば，結果的に，神戸製鋼が開発した手首の方が不二越が開発したものよりも使いやすかったと評価している．その理由としては，神戸製鋼の手首の開発の力点が，いかにティーチングする人間にとって使いやすいかという点を徹底的に追求することにあった点があげられると思われる．そこで，神戸製鋼が座間工場のプロジェクトのためにどのような手首を用意してきたかをこれから紹介することにする．

神戸製鋼がトライアルの際に最初に座間工場に持ち込んできたのはいわゆるKTR 3100タイプのロボットであった．このロボットは，手首の自由度が2軸しかないものであり，全体で5自由度のロボットでは車の塗装には使えないということで，急遽アクチュエータを3個連ねたタイプの3軸手首に変えている（神戸製鋼；永谷）．この理由としては，当時，エア霧化静電ガンを使用していたのであるが，この場合，塗料が扇型に広がるため，パターンが方向性を持つこととなり，斜めの線にパターンを沿わせるためには，どうしてもパターンに捻りを加えることが必要であった点が挙げられる（神戸製鋼；永谷）．KTR 3100では，そのパターンの切り替えができなかったのである．神戸製鋼では，すでに，6軸タイプのロボットをトライアルの段階で投入してきていた．この3軸手首に対しても，日産側から様々な付加的な要求が突き付けられた．・操作しにくい，・大き

すぎる，・油圧ホースが邪魔になるといった点が，改良ポイントとして神戸製鋼側に投げ掛けられた．そして，神戸製鋼側は，これらの要求に沿うべく開発努力を行った．

神戸製鋼の小形化手首の開発の第1のポイントは，アームに対して手首を直線的に付けずに，アームを肩に担ぐ格好で手首をアームの先端から下に落とし込むという工夫である．これは，手首を直線的に付けた場合，ティーチングの際に腰が伸び切ってしまって力が入りにくいということ，そして，また前方のガンの方向が見えにくいという点を考慮して設計されたものであった．そして，さらに，日産からでた小形化の要求に答えて，手首に付いている3つのモータのうちの2つを小形化している．これは，ガンに近い方から2つのモータである．そして，油圧ホースが邪魔になるという日産の要求に答えて，この小形化手首3自由度型に於いては，油圧ホースを手首本体内部に埋め込むという工夫をしている．なお，小形化手首3自由度型の構造については，イメージしやすいように，神戸製鋼・永谷直筆の図面を本論の最後に載せておく．その図には，3つのタイプの手首が載せられているが，Iのタイプは，KTR 3100と同じ2自由度タイプの手首であり，IIは，もう1軸増やした典型的な3軸の手首であり，今われわれが問題にしている小形化手首3自由度型というのがIIIである．アームを肩にしょうようなかたちで，自然体でガンの狙いを定めることができるということが，この図から理解して頂けることと思う．最先端のモータ部分と中間のモータ部分がかなり距離的にはなれた格好になっているので，その間だけ，油圧ホースを外部化している．その他の油圧ホースは，シャフトに錐で穴を開けることによって内部化されている．そして外部化されたホースを手首本体に繋いでいる部分には，2自由度を持つスイベルが使用されている．これは，手首の動きによってホースがねじれて折れてしまうことを防ぐための手段である．さらに，神戸製鋼の開発努力は続く．従

来は，動かすのに固い軸と柔らかい軸とが混在していたものを，各軸同じような柔らかさにしてやろうということで，油圧源から遠い軸については，油圧の道をティーチング作業中だけ短絡させるという工夫を施している．そして，再生時には，その短絡を解除するのである．その結果，手首の先端に近い方から2つの軸は，動かすのが非常に軽くなった．また，少しでもティーチング時の抵抗を少なくしようと，パッキンの材質の改良を行っている．具体的にいえば，通常のゴム・パッキンにテフロンコーティングを施している（神戸製鋼；永谷）．そして，残りの最初の1軸目が非常に重たかったので，なるべくその軸を使わずに，上下運動については，アームそのものを上下させて対応してもらったという（神戸製鋼；中村）．日産側が嫌っていた外部化されたホースのたわみについても，外部化されている2本の油圧ホースが細い部分にまつわりつくのみで，外側に膨れ上がるということはなかった．はみだしが少なく，しかもホースが折れない最短の長さを求めて，何回もホース部分を作り直したという．

以上の神戸製鋼による開発努力は，いってみれば，すべて，CPダイレクト・ティーチングのための改良ということになる．これは，明らかに，ロボットの動きを人間（塗装工）の動きに引きつけるという方向を追っていることになる．技術が少しでも技能へと歩み寄ろうとしているのである．当時の状況を振り返って，神戸製鋼の永谷は，次のように述べている．

『手吹きのノウハウで，どうやってガンを逃がすだとかですね，それまでは，とにかく，手吹きが最高だと思っていたわけですね．手吹きをそのままロボットに置き換えたいと，その当時は，人をロボットに置き換えたいということだけでしたね．』

また，当時，制御担当であった神戸製鋼の若山は，開発のヒントを得るために現場へ視察に出掛けるときの状況を，次のように語ってくれた．

『まず，現場で行われている作業をじっと見るところから始まります．

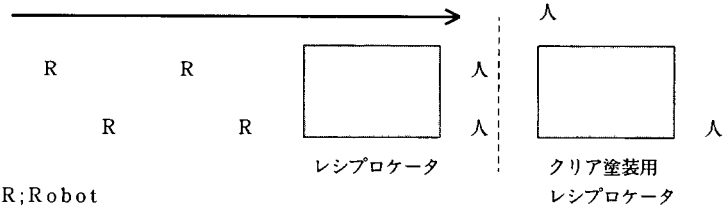
とにかく，この人間のやっている作業をロボットに置き換えたいということを言われました．それを，一日中ボケッと見ながら，一体どういうことをやっているのだろうかと．そういうところからスタートしました．塗装部位がどういう所で，どれだけの厚みに塗りたいという情報は，最初に与えられていますよね．』

また，神戸製鋼の永谷（機械担当）は，当時の状況について，方向としては，ガン・スピードも吐出量も，塗装工の作業を忠実に再現する方向へと向かっていたと述懐している．

当時は，日産のスプレーマンがティーチング・トライアルを行っていたが，座間の段階では，なんとかしてハンドル操作を軽くしようといろいろ試みたが，結果的には，それほど操作力は改善されなかったという（神戸製鋼・永谷）．また，永谷は，ガン角度を旨く決めようとしてもできないといったクレームがユーザー側の現場から出てきたこともあったという．とにかく，スプレーマンにとっては，非常に扱い辛いロボットであったのである．今だから言えることだといって日産の三野が語ってくれたのは，この当時，ティーチング専用の鉄パイプ製のダミーロボットを作ろうという構想があって，神戸製鋼との間でそのダミーロボットを実際に試作してみたという．エンコーダだけを持って，プログラムだけを記憶できるロボットである．これなら，軽い操作でティーチング作業を行える．そう思って開発をしたのだけれども，日産の三野によれば，すでにH社がダミーロボットの特許を出していたために，この試みは自然消滅する格好になったという．トライアル機を作るだけで終わったということである．

それでは，ここで，日産・座間工場の塗装ラインの概念図を示しておこう．

上塗り補正用のロボットということではあるが，実際にはレシプロケータで塗り上げる前にロボットによる補正を行うという格好になっていた．



つまり，ロボットは，前補正を行っていたのである．あらかじめレシプロケータが塗り残すと予想される箇所にロボットで塗料を吹き付けるという格好である．順序が逆になり，レシプロケータで塗った後にタッチアップ部分のロボットによる補正塗装を行おうとすると，せっかく出来上がっているレシプロケータによる塗布面に，ロボットが持っているエアガンの微粒子が細かく付着してしまい，仕上がり肌が悪くなる．そういう訳で，ロボットによる補正塗装といっても，レシプロケータの前の補正塗装ということになっているのである．

この当時は，2分タクトで車1台を塗装していた．そして，CP ダイレクト・ティーチングの際には，3 m/min のコンベア・スピードを 30% 減ぐらいにして，ボディを動かしてティーチングを行っていた．したがって，2×1.3＝2.6 分間でプログラミングを行う計算になる（日産；三野）．

さて，この座間工場のプロジェクトで，技術と技能の関係はどのようになっていたのであろうか．確かに，技術が人間に近付こうとしてはいた．しかし，完全に近付き切れてはいなかった．とにかくアームが重たかったのである．大体，CP ダイレクト・ティーチングの場合には，3人掛かりでティーチング作業を行っているようで，1人がアームを支え，1人がガンを操作し，1人が横から指示を出すといった具合でティーチングが行われていた（日産；高水）．このような状態では，とても，通常の塗装工の柔らかく滑らかな動きを真似ることができるわけがない．この辺りの事情について，日産の三野は次のように語っている．

『うん，まあ，それは，もう，塗り方を変えざるを得ないですよね．自分がやっている動きの通りにはならないですから．どう考えても．こういったところも，3回ぐらいこうやって塗るところがね，もう2回で終わらせるとか．そうなりましたよね．結果的には．やはり，ロボットにあった塗り方，ロボットの能力の範囲内でしかティーチングできないですから．』

『本来は3往復しなければならないところを2往復にするとか，2往復のところを1往復にするとかね．その代わり，吐出量を増やして．そういう方法で逃げるしかないですね．当時は，そうやっていたんです．』

操作力を軽くするための努力を行っているということからすれば，技術が技能を追いかけているのだが，決して技術が技能に追いついたとはいえない状況であったことがここから分る．ただし，技術が技能に追いつけなかったからといって，それまでのスプレーマンが塗装ロボットの周辺の作業から排除されたわけではなく，ティーチング・ハンドルを持つのは，あくまで現業の人であったと日産の三野は語っている．

(5) 栃木工場への内板上塗り用塗装ロボットの導入

さて，次に，我々は，第3段階の栃木工場への内板上塗り用塗装ロボットの導入について検討しよう．ここでは，日産自動車としては初めて塗装用ロボットにPTPティーチング方式が導入されている．PTPティーチングにはダイレクト・ティーチング方式とペンダント（修正装置）を使ったリモート・ティーチング方式とがあるが，栃木工場のケースでは，ロボット搬入当初はペンダントなしで，そして，搬入後暫く経ってからペンダントを使ったPTPティーチングが行われるようになった．この時，日産自動車・栃木工場のプロジェクトに参加したロボットメーカーは，神戸製鋼であった．そして，このプロジェクトについては，神戸製鋼側に多くの資

料が残されていたので，それを参考にしながら，当時の状況を再現していきたい．まず，ロボットの搬入時期から確認しよう．神戸製鋼側の記録によると，栃木工場への4台のロボットの納入は，2回に分けて行われている．Bロボットと名付けられた2台のロボットが先に納入され，上塗り用のAロボット2台を後から納入している．最初の2台は，1980年10月1日に神戸製鋼の岩屋工場を出て，座間の大気社を経由して，10月25日に栃木工場に納入されている．この2台については，その年の11月3日から16日まで，栃木工場に於いて試運転を行っている．後の2台のAロボットは，1981年の7月27日に出荷され，直接栃木工場に納入されている．そして，このAロボットのティーチングは，1981年の8月10日から開始されている．Aロボットが納入されるまでの間，その分の仕事は塗装工によって行われていた．神戸製鋼ではBロボットの据付けを第1期工事，Aロボットの据付けを第2期工事と呼んでいる．当時のロボットの納入の仕方として，まず，最初の2台でテストをして，見通しが立ったところで残りの2台を導入するという形がとられた．その他には，ライトバンのバックドアを開けるための開閉装置が別に導入されている．そして，栃木に納入されたロボットは，KTR 4000とでも呼ぶべき機種で，トラルファ社からの輸入品であった（神戸製鋼；永谷）．正確には，このロボットはFAを装備していたため，KTR 4000 FAと呼ぶのが正しいであろう．

この栃木のプロジェクトは，日産無人化ブース計画と呼ばれたもので，1979年の1月から推進してきたものである[27]．この時の塗装ブースのレイアウトを以下に示す．

神戸製鋼側資料「無人化ブース工事日程及び検討計画表」によれば，Bロボットの据付が1980年11月3日，そして，それから11月30日までの間，トライアルが行われているという記録になっているが，神戸製鋼の永

谷は，すでに12月以前の段階からティーチングの作業が開始されていたという．1980年12月にペンダント（修正装置）が到着するが，修正装置の到着を待たずして，ティーチングが開始されていた．このデータ修正装置は，正規のPTP教示も，また，データの修正も行えるというものであった．そして，当時の教示方式は，ダイレクトPTPを多用して，その中で修正装置でポイントの部分修正をするという形であった（神戸製鋼；永谷）．

［栃木工場・無人化ブースのブース内レイアウト］

R;right　　L;left

（神戸製鋼提供資料；日産自動車株式会社向け、仕上げブース無人化計画、塗装ロボット配置図より）

この当時の神戸トラルファロボットの基本的な仕様について説明しておく．まず，当時のロボットでは，速度指定ができなかった．ポイントとポイントの間の間隔を同じ時間で動くという形の指定の仕方しかできなかった．大体125ミリピッチ～150ミリピッチで教示するので，教示点が非常に多くなる傾向にあった．したがって，それだけ多くのポイントを教示するのには，リモートで教示するよりも，ダイレクトで教示する方が利便性がよかった．また，ポイントとポイントの間の補間については，1秒間に80回の計算をする各軸補間形式を採っていた．各軸補間形式の場合には，各軸が相互の関係を考えずに，バラバラに作動して決められた時間に決められた地点に到達するという仕組みであったために，空間上の2点間を直線で補間しようとしても，ゆっくりと動かす場合には，必ずしも綺麗な直線にはならないという状況にあった．しかし，速い速度で動かすと，応答性が鈍くなって，結果的に直線に近付くという技術レベルであった．現代的な制御方法では，理論的に空間上の直線の式を立てて，その上に乗るよ

うにデジタルデータを各軸に供給しているが，それでも，デジタルデータを供給する際に，前と後ろの間に隙間ができてしまう．その部分については，現代の制御方式に於いても，制御装置にもう一つの頭を持たせて，各軸補間で比例配分させて補っている．この場合の各軸補間では，1秒間に200回程度の計算を行わせている．

さて，この栃木工場のプロジェクトで，初めて，FAが登場することになるわけだが，FA導入の経緯について，神戸製鋼の永谷は，日産自動車の高水から，FAというものがトラルファにあるからあれを使いなさいという形で言ってこられたと記憶しており，また，同じく神戸製鋼の中村も，当時の神戸製鋼とトラルファ社の間のやり取りは，制御装置の信頼性の向上がメインテーマであって，FAについては，日産の方から，急遽作ってくれという話が出たというふうに記憶している．これが事実であるとすれば，トラルファ社と技術提携をしていた神戸製鋼よりも先に，日産自動車の方でFAの存在をキャッチしていたことになる．また，当時，トラルファ社から輸入されたCRC/FAロボットは，プログラムのリンク機能を持っていなかったので，神戸製鋼が，独自にプログラムリンクを開発した．これは，2点間を等速でリンクするのではなく，前のスピードと後のスピードの中間値をとってショックが生じないように配慮されたものであった（神戸製鋼；永谷）．

また，ブースへのロボット導入に伴って，ブース改良のための基礎工事が行われているが，それは，ロボットに付けられた2軸の台車の分だけ地面を下げて，ロボットが載っても壊れないように地面の下に梁を通すという工事内容であった．これが1980年の8月のことである．

実は，このプロジェクトの実施に先立ち，川越の日本デビルビス社のテストブースで長い時間を掛けて事前のテストが行われていた．そのテストの中から修正装置の必要性やプログラムのリンク機能の付加といった問題

が明らかになってきたという（神戸製鋼；永谷）．コンベヤ同期機能を持たせるための装置としてCユニットと呼ばれるものがあるが，これは，日産自動車に於いては栃木工場から使われ始めているが，当初から使われていたわけではなかった．この栃木工場への内板上塗り用塗装ロボットの導入のケースでは，ロボットの作業中は，ワークはステーショナリーであった．したがって，静止した状態のワークに対してPTPティーチングを行っていたのである．そして，このときのコンベヤ同期方式は，距離同期方式や位置同期方式ではなく，時間同期方式であった．

この栃木工場のブース無人化計画のプロジェクト・リーダーを勤めていたのが，日産自動車の高水であった．彼は，もともと村山工場の技術者であったが，この無人化ブース計画に携わるため，本社・技術部に移籍になった．もともと，日産自動車では，各工場ごとに独立して技術開発を行ってきたが，それでは全社をあげて共通の技術開発課題に取り組むことができないという理由から，1976年2月5日付けで，第2技術部が生産技術開発の拠点として組織上設置された[28]．その第2技術部へと高水は送り込まれ，栃木工場の無人化ブース計画を任せられたのであった．彼は，ブース無人化の動機として，以下の点を挙げている．

・これからは，高いスキルを持った塗装工がいなくなる．
・品質を安定させる必要がある．

そして，協力メーカーとして，以下のメーカーを選定している．

・ロボット＝神戸製鋼
・付帯工事＝大気社
・コンベヤの改造＝椿本チェイン
・塗料関係＝関西ペイント
・スプレーガン＝岩田塗装機，ランズバーグ

高水に与えられた技術開発課題は，どうやったらブースの無人化ができ

るか，それを実際に車で証明してみせることであった．高水が，神戸製鋼に対してFAの投入を要請した理由は，車の内板を塗る場合に，エンジンルームやトランクルームは比較的スペースが大きいのでよいのだが，ドアのオープニングまで塗ろうとすると，どうしても手首のアクチュエータが邪魔になることであった．そして，そのときのベースは人間の手首であると高水は考えていた．FAは，まさに人間の手首に近い構造を持った装置であったのである．高水は，大気社の羽牟，神戸製鋼の永谷，若山と4人で実験場にこもって，数か月間実験を重ねていった．車を前にして，ロボットでどうやったら塗れるんだ，どういう順番で塗ったらいいかといった点について，実験場の中で徹底的に実証した（日産自動車；高水）．実験段階で，吐出量は4段階にコントロールしようということになった．すなわち，400 cc/300 cc/200 cc/100 ccの4段階である．とくに，低吐出量の場合には，吐出量の高い精度が求められた．塗膜の調整は，ガン・スピード，ガン距離，それに吐出量で調整することとなった．手首を小型化することとの関連で，岩田塗装機に対して，従来の性能を維持しながら，ガンを小形化するように注文を付けている（日産自動車；高水）．

さて，我々は，我々の主眼である技術と技能との関係についての議論に入っていこう．高水は，熟練した塗装工であっても，塗装の仕方は十人十色であるといっている．ガンとワークとの距離，コーナー部分のガン回しなど，なかなかマニュアルではいえないようなところが個人個人によって違っているという．そして，高水は，最初にロボットを導入するに当たって，塗装工の技能とロボットとの関係について次のように考えていたという．『あの，最初にいったように，どうやってね，頭の中では，ロボットの場合に，どういうのが理想なのか，人間はこう塗っているけれども，ロボットだったらこう塗ればいいはずだというようなことが構築できなかったんですよ．わかんなかったんです．今でも，本当は，よく分かっていな

いんですがね．ですから，ベースは，すべて，人間がやっている作業を，すべてロボットに置き換えてやろうというのから出発したわけです．』ここで高水がベースといっているのは，いわば塗装工に与えられたマニュアルのようなものであり，具体的には，・ガン・スピード＝1 m/sec，・スプレーパターン＝300 mm，・ガン距離＝25 cm，・2/3 ずつ重ね塗り，・吐出量＝400/450 cc である．例えば，メタリック塗装の場合であれば，3回で仕上げるのが理想とされており，1回目が色付け，2回目がムラ消し，3回目が仕上げという形で，1回目 7 ミクロン，2回目 5 ミクロン，3回目 3 ミクロン，合計 15 ミクロンの塗膜が理想とされている（日産自動車；高水）．日産の高水は，いわゆる塗装工の熟練の性格について，次のように語っている．

『塗り方というのは，もちろん十人十色なんですが，ベースというものがあって，それに自分の工夫を重ねて，自分の像にしているわけですね．それがスキルになっているわけです．』

さらに，高水は，当時の塗装に関する熟練の所在について，以下のように語っている．

『僕なんかの時代には，比較的，自分で，こう，塗れる技術員だったんですね．僕が会社に入ったときには，新しい塗料のテストというのは，皆，自分で，こうやって塗っていたんですよ．で，僕が塗れるんだから，うちのラインの人も塗れるんだと．僕が塗れないなら，当然こっちの作業者も塗れない．ということで，そういう新塗料のテストというのは，自分で塗っていた時代があるんですね．ですから，幸いなことに，僕は，自分でティーチングができたわけですね．』

したがって，当時の塗装の熟練ないし技能は，技能員としての塗装工の独占物ではなかったのである．しかし．やはり，技能員としての塗装工には，技術員にはないスキルが存在していたことも，また，事実である．高

水も，『やはり仕上げることに関しては技能員の熟練に頼っていた面があった．車の塗装を綺麗に仕上げるためには，やはり作業者のスキルに頼るウェイトが高かった.』と述べている．

この栃木工場の塗装ブースの場合には，車をコンベヤで動かしながらティーチングするということは行われていなかった．これは教示方式から必然的に出てくるもので，PTP ティーチングの場合には，ワークを静止させた状態で教示する必要があった．日産自動車としては，できるだけコンベヤによる搬送時間を短くし，車が静止した状態に於てロボットが作業を行う時間をできるだけ多く取るため，椿本チェインの協力を得て，高速コンベヤを開発している．この当時，栃木工場のブースでは 3.4 分タクトで車を製造していた．つまり，3.4 分に 1 台ずつ車が出来上がってくることになる．この 3.4 分間を，高水は，1 分×3 ステージ＝3 分と，ステージ間の搬送時間合計 0.4 分でライン構成を行った．そして，高速コンベヤの位置決め精度，コンベヤと台車のズレ，台車とボディのずれを相殺して，全体として 15 ミリ程度の許容誤差を設定していた（日産自動車；高水).

この時点では，まだ，ロボットによる最適な塗り方というものを十分に割り出し切れておらず，ロボット的な塗装と人間的な塗装が混在している状況にあったと考えられる．

高水は，CP ダイレクト・ティーチングでは，全体の軌跡の一部分だけを直すことができなかったため，それで頭にきて PTP 制御に変えて，ティーチングボックスを作ったという．この時，神戸製鋼は，日産自動車の関係する作業員を全部集めて，意見を聴取しながら，ティーチングボックスのスペックを決めていった（日産自動車；高水).

神戸製鋼側では，プログラムの修正装置に，各ポイント毎の軌跡と塗料のコントロール用の信号を修正する機能を持たせている．また，ファンクション数についても，当時標準が 3 ファンクションであったものを，塗装

ガンの口を開ける，塗料を吹く，塗料の量を変える，フードやドアの開閉を行うといったように，ロボットの制御に多機能性が要求されていたので，3ファンクションを5ファンクションへ，さらに8ファンクションへと増やしていった．内板塗装の場合には，人間が直接中に入れない部分があること，そしてPTPで教示したポイントを事後的に修正する必要がどうしてもあったことなどから，すでに日本デビルビスに於ける実験の段階で，修正装置の必要性やプログラムのリンク機構の付加といった要求が出始めていた（神戸製鋼；永谷）．栃木に導入されたロボットは，トラルファ社から輸入されたCRC/FAロボットであったが，そのロボットは，プログラムの接続機能を持っていなかった．そこで，その輸入したロボットに対して，栃木工場への納入前に，プログラムの接続機能を付加している．これは，プログラムリンクと呼ばれていた（神戸製鋼；永谷）．

基本的には，栃木工場の内板上塗り用ロボットの教示方式は，CPからPTPへと転換されたのであるが，導入されたロボットは，まだ，CPダイレクト・ティーチングの可能性を残していた．したがって，実際のプログラム作成の中でも，一部，CPダイレクト・ティーチングが使用されている．それは，以下の部分である．

ＡＬロボット；・最初の1秒間のガン移動と，合計6秒間のフードドアの開放（いずれも第1ステージ）

ＡＲロボット；・第3ステージに於ける2秒間のガン移動と，6秒間のフードドアの閉鎖

ＢＬロボット；・第1ステージに於ける1秒間のガン移動と，6秒間のトランクドアの開放

・第1ステージに於ける合計3秒間のガン移動と，合計12秒間のトランクドアの閉鎖

・第3ステージの最初の1秒間のガン移動と，6秒間のトランクドアの開放

BRロボット；・第1ステージの1秒間のガン移動と，6秒間のトランクドアの開放

・第1ステージの合計3秒間のガン移動と，合計12秒間のトランクドアの閉鎖

・第3ステージの1秒間のガン移動と，7秒間のトランクドアの閉鎖（神戸製鋼提供資料；第5回テストプログラム（計画）より）

(6)　ロボットが塗装工を越えるとき

栃木工場に於ける内板上塗り用塗装ロボットは，さらに進化を続けた．そして，いよいよ，ロボットが人間を越えるときが訪れたのである．そのロボットとは，神戸製鋼が日産自動車をターゲットとして開発したKR 10000である．時期的には，1982年に神戸製鋼が日産自動車からのオーダーを受け，製作し，1983年に検収を終えて栃木工場に納入されている．すでに1980年の栃木工場でのプロジェクトの段階で，このKR 10000に対する開発課題は決まっていたといってよい．ここで問題となっていたのは，次の2点であった．

・ポイントをいちいち1つずつ教えるのは大変である．

・各軸補間は補間の精度が悪い．

この2点を踏まえて，神戸製鋼が，コントローラを現代的なものへと変えていったのであった（神戸製鋼；永谷）

これから，KR 10000の主な改良点について説明する．まず，KR 10000では，手首の動作範囲が広がっている．4000 FAでは，手首の曲げ角度

が88度であったものが，ロボット自身の方にまで手首が向くように，手首が120度曲がるように設計されている．さらに，ロボット全体としての動作範囲も向上している．

KR 10000の制御上の特長としては，次の点が挙げられる．まず，制御盤に座標の演算機能を持たせた．これは，特定の空間上の座標点にロボットの手首の先端があるためには，各軸がどの位置になければならないかということを逆算する機能である．これによって，完全な直線補間が可能になった．また，曲線補間についても，円弧を描く場合であれば，ポイントを3点指定して円弧を描かせる方法と，2ポイントの指定＋曲率半径の指定によって円弧を描かせる方法が可能であった．各軸補間ではない，完全な直線補間が可能になったことのメリットの一例として，ルーフの雨どいの塗装がある．完全な直線補間ができれば，直線が振れることがないために，平パターンで，雨どいの直線上を正確に沿わせることができるのである．エンジンルーム内の雨どいについても，同じことがいえる．

KR 10000は，動作範囲の限界付近でも精度よく動くように，パワーアップされている．このロボットは，車を塗ることを狙って，大きな動作範囲を最初から想定したものであったのである．

1980年の栃木工場へのロボット導入の際には，3車種，9色を同じロボットでこなさなければならなかった．しかし，当時のロボットでは，最大で64個のプログラムしか持てなかった．したがって，本来であれば，色ごとに異なるプログラムを作るべきところを，同一のプログラムで妥協していたということがあった．分かりやすい例でいえば，白と黒の対照がある．白は透けやすい．これは水着を想像してみれば分かる．したがって，白を塗る場合には，黒よりも多く重ね塗りをしなければならない．しかし，1980年の時点では，白も黒も同一プログラムでロボットを動かしていた（日産自動車；高水，神戸製鋼；永谷）．これが，現在では998個のプログ

ラムまで入力可能となっている．また，4000シリーズをKR 10000と比較した場合，教示ポイント数にも大きなキャパシティの違いがある．1980年当時のロボットでは，38,000ポイントまでしか入力することができなかった．これに対して，KR 10000では，標準で3,400ポイント，最大で282,000ポイントの入力が可能であった．標準ポイント数では，従来機の方が上回っているではないかという疑問を抱かれる方もあろうが，従来機とKR 10000では，1ポイントの重みが全く違っている．KR 10000では，完全な補間機能が付いているために，長い直線軌道を描かせる場合であっても，両端の2点だけを指定すれば十分であった．また，従来機では，ポイントの間隔によって速度を指定するという形をとっていたが，KR 10000では，その必要がなくなり，直接ポイントに速度入力できるようになった．また，従来機では，塗料の吹き始めの指定をするために特別にポイントを置かなければならなかったが，KR 10000では，その必要がなくなり，教えたポイントから何ミリメートルのところから吹き始めという数値指定ができるようになった．同時に吹き終わりも同じ要領で指定可能である．距離による指定だけではなく，さらに時間による指定も可能であった（神戸製鋼；永谷）．

またKR 10000では，コンベヤ同期の方式が変わっている．従来は時間同期方式であったものが，距離同期，ないしは位置同期方式へと変化している．この方式であれば，コンベヤスピードが変わっても，ロボットとワークの相対的な位置関係，それと塗装時間は変化しない．

駆動源は，まだ油圧ではあったが，このKR 10000で，車を塗装するロボットのベースが出来上がったと永谷は述べている．そして，ロボットが電動化されても，同じ制御メニューが受け継がれていった．

このKR 10000の開発に当たっては，日産自動車の塗装工や技術スタッフたちと開発のポイントについてもみにもんだという．前述の栃木工場で

のプロジェクトの段階で，CP教示，及びPTP教示の限界が明確になった．

・ＣＰ教示方式について

・速度が一定にできない．

・軌跡が思うように真っ直ぐに行かない．

・ＰＴＰ教示方式について

・前のポイントに於けるガンの姿勢を忘れてしまう．

・ワンステップずつステップで送っていくのが面倒（修正に時間が掛かる）

このKR 10000の段階で，ロボットによる塗装が人間による塗装を完全に越えた．品質の安定性，塗装の精度という点で，もはや人間が介在できない状況になった．この点に付いて，日産自動車の三野が次のように語っている．

『だから，今，ロボットやレシプロケータが止まったら，作業者がそれに置き代わって人間がバックアップすることはないですよ．レシプロケータが止まったら，それが直るまで、ラインは生産しませんよ．それは，もう，人間が追いつかないからです．ですから，レシプロケータで塗って，残ったところだけを塗る範囲だったらできますけれどもね．あの．右サイド全面が故障したと，塗れないと．で，人間がそれをバックアップしようというのは，もうできないです．それは，もうコンベヤを止めて，生産を止めて，機械を早く直すことです．』

また，ロボットが人間の塗り方を完全に変えてしまったということについて，神戸製鋼の永谷が「クロス掛け」を例にとって説明してくれた．

『はい．それと，3回塗るとかパス回数もですね，人でしたら，要するに，人でしたらこういうふうな塗り方と，それでも，まだ，膜厚が不均一

になりますので，それにクロスしてですね，こういうようなクロス掛けの塗装をするというのが，割に一般的です．それを，塗膜を均一にするために，できるだけちらつかせて，パス数を多くして，できるだけちらつかせようといいますかね，できるだけ濃淡を隠してしまおうということで，そういった塗り方をします．ところが，ロボットの場合には，スピードが安定していますので，こういうようなクロス掛けの必要がありませんので，一方向だけで，それで塗ってしまいます．それで膜厚の均一性が得られると．塗り方が変わってきております．』

例えば，長い直線軌道を得ようとした場合に，人間であれば，腕を横に大きく振るという動作をするが，どうしても肩を中心とした円弧運動になってしまいやすい．また，重ね塗りをする場合に，人間であれば，どうしても正確なピッチを維持することができず，縦方向から見ると凹凸が出る状況になりやすい．そこで，先ほどのクロス掛けという手法がこれまで存在してきたのであるが，その技能を，ロボットが不要にしてしまったということができる．

(7)　これからの技能

それでは，果たして，人間の技能は本当に無用なものとなってしまったのであろうか．この点について，神戸製鋼の永谷は，人間によるバックアップの必要性が生じた場合にのみ，熟練塗装工の技能が生かせると述べている．それ以外に，とくに現場の作業員から吸収することはないという．このような永谷の見方に対して，ロボットユーザー側の日産自動車の高水は，また，違った見方をしている．

現在，日産自動車では，将来の塗装ロボットのCADティーチに向けて，データを収集し，重回帰分析などを行なっているというが，その様な

CADティーチが可能な時代が到来しても，現場からの情報の重要性は変わらないと高水は評価している．実際，日産自動車の九州第2工場の塗装ブースには，外板の上塗りだけで40台の神戸製鋼製の塗装ロボットが導入されており，ティーチングの際にパソコンCADが使われているという．しかし，CADティーチを行う場合にも，机上の理論値だけで実用的なプログラムができるわけではない．実際のデータの積み重ねが，まず，先にある．どれだけのピッチで，どれだけの吐出量でというデータを先に得ておいて，それから机上で軌跡を決めていくという．決して，机上の計算だけでできる作業ではなく，経験値や実験値が必要になる．最初に塗料ごとの実験値をとらないと机上に載せられない．直角，あるいは斜め方向から吹いた場合の塗着効率に関するデータも必要である．日産九州工場でのCADティーチの場合でも，ティーチングの前に，サイドを塗るテストを行って，データを集めたという（神戸製鋼；永谷）．日産の高水は，この経験値の重要性を強調している．現場からの情報を基に実験で実証し，方向性を出していく．この繰り返しが必要であると高水は強調する．実験に於いては，各要因の結果に対する寄与率を求めていく．この点について，高水は，次のように述べている．

『経験の中からヒントを得た状態を実験によって裏付けられて，それを解析して，方向性を出して，また，実ラインで検証して積み重ねていく．そういうパターンです．』

高水によれば，各パラメータの寄与率を解析する能力を持ったスプレーマンも育ってきているという．そういう状況になると，今まで，技術員が担当してきた仕事の何割かが熟練塗装工の仕事の領分へとシフトしていくことになる．熟練工の仕事の中身が随分と変わってきているのである．そして，高水は，何十年か後には，現場の人がCADティーチをするような時代になってくると述べている．また，すでに，座間工場などでは，作業

者，とくに工長クラスの人間の中に，コンピュータの勉強をして，車のCADデータから，実物を見ないでロボットのプログラムを作れる者が育ってきているという（日産自動車；芳賀）．

ここで，現在の日産自動車に於けるスプレーマンの養成方法について多少触れておこう．まず，将来スプレーマンとしての仕事を任せられる者に対しては，ロボットから離れて，1年以上かけて塗装工としての基本をマスターさせる．それからロボットに携わり始めて正味3か月から6か月でティーチング・ペンダントを見ないでペンダントの操作ができるまでに成長するという．これからは，単に塗装ができるという技能だけではなく，むしろ現場の状況から何かを解析的に見いだすことのできる能力を持ったスプレーマンが必要とされる時代がくるのであろう．

すでに述べたように，神戸製鋼のKR 10000辺りから，ロボットの動きをいかに人間の動きに近付けるかということから，次第に，塗装品質というものを追い始めた．人以上の品質を機械で出すという方向へと走り始めたのである．そして，今，業界では，塗装品質を追いかける段階から，省エネルギー，省スペース，省資源の段階へと突入し始めている（神戸製鋼；永谷）．塗装工程にも，ロボットのオフライン・ティーチングが導入され始めた．しかし，ロボットへのCADティーチングの完成度は，必ずしも100%のレベルに達しているわけではない．神戸製鋼の永谷は，机上のデータがそのまま使える部分が10-20%，現場にデータを持っていって修正しなければならない部分が70-80%であるといっている．実験をして，どれぐらいのピッチで塗った場合に，どの程度の塗膜ができるかといった塗膜の仕上がり品質を現場で確認して，そのデータを基に，実際の軌跡を決定していくのである．決して机上の理論値だけですべてが片付けられるという世界ではないということを，我々は認識しなければならない．CADティーチングの時代に突入していこうとしている今でも，現場からの情報

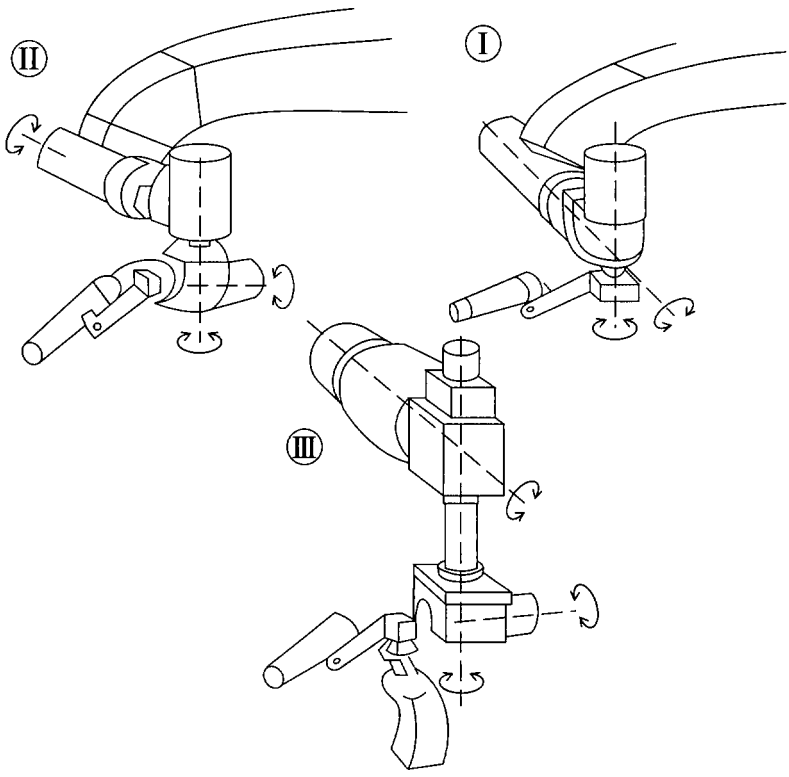
は，技術者にとって欠かせないものとなっているのである．

考えてみれば，塗装ロボットの歴史は，多少の遠回りをしてしまったということができるかもしれない．塗装ガンを人が1個持って動かしているその動きをロボットで真似ようとしても，到底無理な話であって，また，車のルーフの上を塗るというような人間の動作範囲を越えた領域を処理することを考えても，CPに拘っていたのでは，問題の根本的な解決には繋がらない．さらに，一連の動作としては難しいドア回りの塗装を考えても，PTPティーチング方式でなければ教示は困難である．ここに，専門雑誌『塗装と塗料』の1982年4月号に載せられた「塗装用ロボットの現状と今後の展望」と題する不二越の浦田の論文がある．その中では，2つのタイプのロボットが同時に紹介されている．それらは，UM 5600-SPとUM 5601-AFの2機種である．前者はCPダイレクト・ティーチング，後者はPTPダイレクト&リモート・ティーチングの教示方式を採っている．そして，後者のUM 5601-AFについては，塗装面に対して理想的な動きを追求しようとしたものであり，塗装したい線を直線に置き換え，その折れ線の折れ点を教えることにより，その間の点は制御装置内部のコンピュータで自動的に計算し，直線補間動作を行わせることができると書かれている．また，塗装部位に合わせて，データ補間動作も可能であるという．そして，この論文の中で，浦田は，「私の独断的見地から判断すると，小物の被塗物で，ティーチングに余り時間のかからないものにはUM 5600-SPがよく，自動車ボディのような被塗物が大きく，幾つもの部位に分割し，コンベヤ速度が変化するものにはUM 5601-AFがよい．また，UM 5600-SPは，従来の作業者にもすぐ使いこなせるため，現場的であり，逆に，UM 5601-AFは，生産技術的であると思う．」と述べている[29]．ここで，現場的，生産技術的という言葉を使っているが，この言葉の使い方には何か暗黙の了解のようなものがあるようである．とにかく，この論文の

中で，浦田は，自動車ボディの塗装には，PTP ティーチング方式が適しているということを明言している．おそらく，浦田がこの論文を執筆していた時期は，自動車塗装の世界が CP ダイレクト・ティーチングから PTP ティーチングへと変化しようとする過渡期に当たっていたのではないかと推察される．もう，車の塗装には CP ダイレクト・ティーチングは使えないという割り切りができ始めた頃なのであろう．浦田は，この論文で紹介されている PTP ティーチング・ロボット，UM 5601-AF の設計に当たって，日産自動車からサニーの図面をもらって，それをベースにしてロボットの動作範囲を決めたと記憶しているという．車の塗装に適したロボットがいかなる機能を持つべきなのか，この辺りでほぼその基本が明らかになってきたのであろうと思われる．最後に，この時期を振り返って不二越の浦田が語っている言葉を記して，本論文を締め括ることにしよう．

『私は，実は遠回りしたかなあと，この前電話でちらっと話をしておりましたけれども，ええと，このロボットからこのロボットに変えた大きな狙いがですね，実は，その，ドアの内回りを塗るとか，その変を物凄く意識した中身だったんですよ．手首は直線的であり，かつ，コンパクトになっています．重さも．という意味でですね，そういう意味で，随分遠回りしちゃったかなあと思ったのは，やっぱり，CP ティーチングという格好で拘ってきていたのですけれども，結局は，正しく塗るという動作を考えた場合に，必ずしも CP である必要があるのかなあということまでさかのぼって考えていって，最終的にこっちの方向へ行こうという格好で考えましたので，丁度，ここで，両方出しているということは，まだほんの過渡期かなあという気がするんですけれども.』

本論文を締めくくるに当たり，聞き取り調査に参加していただいた方々のお役職とお名前を記して，感謝の意を表したいと思う．



日産自動車，村山工場，第2製造部，部長，芳賀八郎
日産自動車，営業本部，全社営業推進プロジェクト室，課長，高水康夫
日産自動車，第5技術部，課長，三野豊
神戸製鋼，電子・情報事業本部，FAロボット本部，本部長，加集慎二
神戸製鋼，FAロボット本部，豊橋FAロボットセンター，開発設計部
FA室，次長，永谷壽啓
神戸製鋼，新分野事業部，FAロボット本部，豊橋FAロボットセンタ

一，開発設計部開発室，次長，若山弘
神戸製鋼，新分野事業部，FA ロボット本部，豊橋 FA ロボットセンタ
一，開発設計部開発室，中村智
不二越，東京支店，ロボットシステム営業技術課，課長，浦田茂明
不二越，本社，ロボットシステム製造所，システム技術課，課長，浦田茂明

(1) Barry Wilkinson, The Shopfloor Politics of New Technology, 1983., London.
(2) Barry Wilkinson, op. cit., p. 3.
(3) Barry Wilkinson, op. cit., p. 9.
(4) Barry Wilkinson, op. cit., p. 11.
(5) Barry Wilkinson, op. cit., pp. 14-15.
(6) Barry Wilkinson, op. cit., p. 20.
(7) Barry Wilkinson, op. cit., p. 21., p. 31., p. 37.
(8) Barry Wilkinson, op. cit., p. 63.
(9) Jon Clark/Ian Mcloughlin/Howard Rose/Robin King, The Process of Technological Change - New Technology and Social Choice in the Work Place, 1983.,
Cambridge University Press.
(10) Jon Clark, et al., op. cit., p. 2., p. 9.
(11) Jon Clark, et al., op. cit., p. 10., p. 12.
(12) Jon Clark, et al., op. cit., p. 13., p. 205.
(13) Jon Clark, et al., op. cit., p. 18., p. 20., p. 29.
(14) Jon Clark, et al., op. cit., p. 130.
(15) Jon Clark, et al., op. cit., pp. 19-20.
(16) Jon Clark, et al., op. cit., p. 91., p108.
(17) Jon Clark, et al., op. cit., p. 101., p. 109.
(18) Jon Clark, et al., op. cit., p. 108.
(19) Jon Clark, et al., op. cit., p. 133.

(20) Jon Clark, et al., op. cit., p. 159.

(21) Jon Clark, et al., op. cit., p. 186.

(22) Jon Clark, et al., op. cit., p. 66., p. 195., p. 202.

(23) Harley Shaiken, Work Transformed - Automation and Labour in the Computer Age, 1986., Lexington.

(24) Harley Shaiken, op. cit., p. 45., p. 259., p. 264., pp. 267-269.

(25) Jon Clark, et al., op. cit., p. 31.

(26) Jon Clark, et al., op. cit., p. 29.

(27) 神戸製鋼提供；機種別（または技術別）の主要活動・出来事の記録より

(28) 日産自動車社史 1974-1983 の付録の組織図より

(29) 塗装と塗料，1982. 4.，No. 351，42-43 頁